

# **SIMMI 4.0 – Vorschlag eines Reifegradmodells zur Klassifikation der unternehmensweiten Anwendungssystemlandschaft mit Fokus Industrie 4.0**

**Christian Leyh<sup>1</sup>, Thomas Schäffer<sup>2</sup> und Sven Forstehäusler<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Technische Universität Dresden, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Informationssysteme in Industrie und Handel, christian.leyh@tu-dresden.de

<sup>2</sup> Hochschule Heilbronn, Studiengang Wirtschaftsinformatik, thomas.schaeffer@hs-heilbronn.de

## **Abstract**

In diesem Beitrag wird ein Reifegradmodell (SIMMI 4.0) zur Einordnung einer unternehmensweiten Anwendungssystemlandschaft in den Kontext Industrie 4.0 auf Basis der spezifischen Anforderungen dieses Themenkomplexes vorgestellt. Die Entwicklung des Modells folgt dabei dem Vorgehensmodell von Becker et al. (2009) und den darin vorgeschlagenen acht Phasen. Auf Basis einer Literaturanalyse mehrerer artverwandter und themenverwandter Reifegradmodelle wird dabei gezeigt, dass bestehende Reifegradmodelle für diesen spezifischen Anwendungskontext nicht konzipiert sind. Somit ergibt sich die Notwendigkeit, ein neues Modell für diesen Anwendungsfall zu konzipieren. Daher stellt dieser Beitrag nicht nur das Reifegradmodell an sich vor, sondern vielmehr werden auch die Problemrelevanz und die Motivation dargestellt sowie die einzelnen Entwicklungsschritte hin zu SIMMI 4.0 dargelegt.

## **1 Ausgangssituation und Motivation**

Einer Herausforderung, denen sich Unternehmen aktuell gegenübersehen, ist die Digitalisierung des Unternehmens und der Unternehmensprozesse meist auch verbunden mit dem Schlagwort „Industrie 4.0“. Weltweite digitale Vernetzung, Automatisierung einzelner oder gar aller Geschäftsprozesse und die Umstrukturierung bestehender Geschäftsmodelle sind nur einige wenige Auswirkungen, die dabei in diesem Zusammenhang nennen sind. Die Veränderungen, denen sich die Unternehmen stellen müssen, sind enorm und nicht mehr alleine auf Branchen beschränkt, die durch ihre Produkte oder Dienstleistungen auf moderne Technik angewiesen sind. Die Bereiche dieser Veränderungen sind vielfältig und betreffen auch in großen Teilen die Anwendungssystemlandschaft der Unternehmen. Angefangen bei dem Einsatz von Enterprise Resource Planning (ERP)-Systemen zur ganzheitlichen Unterstützung und Planung von betriebswirtschaftlichen Abläufen im Unternehmen, über die Erhöhung der Präzision von Fertigungstechniken mit Hilfe von Computer-Aided-Design (CAD)-, Computerized-Numerical-Control (CNC)- und Computer-Aided-Manufacturing (CAM)-Programmen bis hin zur zunehmenden Vernetzung der klassischen horizontalen Wertschöpfungskette hin zu einem komplexen Wertschöpfungsnetzwerk (BDI und

Berger 2015). Diese Netzwerke und die Nutzung von passfähigen Anwendungssystemen sind Grundlagen für ein Unternehmen, das sich mit Blickpunkt Industrie 4.0 ausrichten möchte / muss. Diesbezüglich bedingt eine Ausrichtung mit Blick auf Industrie 4.0 eine starke Digitalisierung der Unternehmen. Dabei besteht die Herausforderung für Unternehmen darin, die zunehmende Verflechtung von virtuellen, digitalen Programmen und realen Dingen bzw. Produkten in ihrem Geschäftsalltag zu erkennen, um anschließend die Prozesse anpassen, erweitern oder optimieren zu können (Schlick et al. 2014).

All diesen Punkten sehen sich mittlerweile nicht mehr nur die Großunternehmen gegenübergestellt. Vielmehr öffnen sich auch vermehrt KMU dem Komplexthema der Industrie 4.0 und versuchen, ihre Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle in diese Richtung umzugestalten. Dass die zunehmende Transformation des Geschäftsalltages neben diesen Chancen auch Risiken für bestehende Geschäftsmodelle birgt, liegt nahe. So bedeuten solch tiefgreifende Veränderungen der Unternehmensstruktur Investitionen sowie temporäre Ausfälle einzelner Unternehmensbereiche bei der Umrüstung, die neben dem Alltagsgeschäft getragen werden müssen. Deren Realisierung scheint jedoch in Anbetracht der zunehmenden nationalen und internationalen Konkurrenz unumgänglich. Heute schon müssen sich beispielsweise die kleinen und mittleren Industrieunternehmen vor allem dem Umgang mit neuen Informations- und Kommunikationstechniken (IKT) zur Abwicklung von Produktions- und Geschäftsprozessen stellen (Rauh und Seynstahl 2012). E-Mail und das Internet als Hauptkommunikationsmittel nehmen stetig an Bedeutung zu, computergestützte Programme präzisieren die Fertigung und Managementsysteme unterstützen das operative Tagesgeschäft. Insgesamt schwimmt im Zuge der zunehmenden Digitalisierung der Unternehmen die Abgrenzung wertschöpfender und unterstützender Prozesse immer weiter, wodurch eine Transformation von ursprünglich nachgelagerten Prozessen zu einem ganzheitlichen Wertschöpfungsnetzwerk erfolgt (BDI und Berger 2015). Um sich dieser Entwicklung stellen zu können ist der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik unabdingbar. Jedoch fehlt an dieser Stelle oftmals die Kenntnis des Digitalisierungsgrades der Unternehmen. Hier existieren bereits einige Studien (z.B. Beckmann und Schäffer 2014; BDI und Berger 2015; Schäffer und Beckmann 2014), die über verschiedene Befragungstechniken erheben, welche Informations- und Anwendungssysteme in Unternehmen (vor allem KMU) verwendet werden bzw. wie sich die IT-Landschaft der Unternehmen ausgestaltet. Hier stellt sich jedoch die Frage, wie eine IT-Landschaft ausgestaltet sein muss, damit sich ein Unternehmen im Bereich der Industrie 4.0 „bewegen“ kann. Welche Systeme werden in welcher Art und Weise zu welchem Zweck benötigt – dies erkennen und einschätzen zu können, ist nach wie vor eine Herausforderung für Unternehmen.

An dieser Stelle setzt der vorliegende Beitrag an. Es soll für Unternehmen ein Handwerkszeug (z.B. ein Reifegradmodell) bereitgestellt werden, damit sich die Unternehmen aus Sicht der Anwendungssystemlandschaft besser einordnen können, um die eigene Systemlandschaft in die Anforderungen von Industrie 4.0 an Systemlandschaften einzuordnen. Daraus ergeben sich zwei zentrale Forschungsfragen für diesen Beitrag:

1. Wie muss ein Reifegradmodell ausgestaltet sein, um die Anwendungssystemlandschaft von Unternehmen in das Thema Industrie 4.0 einzuordnen?
2. Welche bereits existierenden Reifegradmodelle können genutzt / adaptiert werden, um einem Industrie 4.0 – Reifegradmodell bezogen auf die Anwendungssystemlandschaft der Unternehmen gerecht zu werden?

Um diese Fragen zu beantworten und um ein passendes Reifegradmodell vorzuschlagen ist der Beitrag wie folgt aufgebaut. Im sich der Motivation anschließenden Kapitel werden kurz die begrifflichen Grundlagen dargelegt und das Vorgehen zur Entwicklung eines Reifegradmodells wird theoretisch erläutert. Kapitel 3 stellt den Kern dieses Beitrags dar. In diesem Kapitel wird das Reifegradmodell SIMMI 4.0 und dessen Entstehen beschrieben, bevor der Beitrag mit einem kurzen Fazit und dem Ausblick auf weitere Schritte endet.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Industrie 4.0

Die vierte Stufe der industriellen Revolution, Industrie 4.0, steht für die zunehmende Digitalisierung von Produkten und Systemen und deren Vernetzung untereinander. Hierbei verbindet sich die physikalische mit der virtuellen Welt. Fokussiert werden soll sich hierbei auf die Erhöhung der Automatisierung, die Flexibilisierung sowie die Individualisierung der Produktion und der sich darin befindlichen Prozesse (Kagermann et al. 2013; Lemke und Brenner 2014) Die Charakteristiken der Industrie 4.0 sind u.a. „die horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke, die vertikale Integration und die digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette“ (Kagermann et al. 2013, S. 24). Eine allgemeingültige Definition gibt es jedoch für diesen Begriff nicht. Allerdings lässt sich aus den erwähnten Beschreibungen und weiteren Charakteristika von Industrie 4.0 eine Definition ableiten, die diesem Beitrag für den Begriff „Industrie 4.0“ zu Grunde liegt:

*Industrie 4.0 beschreibt den Wandel von einer zentralen, hin zu einer sich selbst steuernden flexiblen Produktion, in der Produkte und Systeme und alle Prozessschritte des Engineerings digitalisiert sind und untereinander vernetzt Informationen austauschen und diese entlang der vertikalen und der horizontalen Wertschöpfungskette und darüber hinaus in Wertschöpfungsnetzwerken weitergeben.*

### 2.2 Reifegradmodell

Reifegradmodelle sind Referenzmodelle, die sich unter Zuhilfenahme von Entwicklungsstufen mit dem aktuellen Entwicklungszustand und den Änderungen in Organisationen und deren eingesetzten Technologien befassen (Mettler 2010). Die Entwicklungsstufen stehen synonym für die Reifegrade. Der Reifegrad definiert einen bestimmten Entwicklungszustand innerhalb eines Skalenbereiches, bestimmt durch einen Anfangspunkt (niedrigster Entwicklungsgrad) und einem Endpunkt (höchster Entwicklungsgrad). Dabei steht ein Wechsel in einen höheren Grad gleichbedeutend für eine Verbesserung in der zu bewertenden Domäne. Das Reifegradmodell dient dabei als Bewertungsinstrument. Ein Reifegrad beinhaltet die jeweiligen Merkmale vorher festgelegter Objekte und deren erforderlichen Ausprägungen (Becker et al. 2009).

### 2.3 Vorgehensweise bei der Erstellung des Reifegradmodells

Nach Becker et al. (2009) lässt sich ein Reifegradmodell als Artefakt auffassen und unterliegt damit den Grundsätzen einer konstruktionsorientierten Forschung (Design Science). Die Entwicklung eines Reifegradmodells folgt dabei im Allgemeinen den Phasen: Problemidentifizierung, Konstruktion und Evaluation. De Bruin et al. (2005) entwickelten auf Basis der Erkenntnisse des Business Process Maturity Model (BPMM) und des Knowledge Management Capability

Assessment (KMCA) ein generisches Phasenmodell mit sechs Schritten: Scope, Design, Populate, Test, Deploy und Maintain. Wohingegen Becker et al. (2009) für den Entwicklungsprozess von Reifegradmodellen basierend auf den sieben Richtlinien (R) zur Durchführung von Design Science (R1: Artefakte als Designergebnis; R2: Problemrelevanz; R3: Evaluation; R4: Forschungsbeitrag; R5: Stringenz der Forschungsmethode; R6: Design als Suchprozess; R7: Kommunikation der Forschungsergebnisse) nachfolgende Anforderungen definieren (vgl. Tabelle 1).

#	Anforderungen zur Entwicklung von Reifegradmodellen nach Becker et al. (2009)	Referenzierte Richtlinie Design Science nach Hevner et al. (2004)
A1	Vergleich mit existierende Reifegradmodellen	R1, R4
A2	Iteratives Vorgehen	R6
A3	Evaluation	R3, R6
A4	Multimethodisches Vorgehen	R5
A5	Aufzeigen der Problemrelevanz	R2
A6	Problemdefinition	R2
A7	Adressatengerechte Ergebnisbereitstellung	R7
A8	Wissenschaftliche Dokumentation	R7

**Tabelle 1: Anforderungen zur Entwicklung von Reifegradmodellen (Becker et al. 2009)**

Aus diesen Anforderungen heraus, geben Becker et al. (2009) ein Vorgehensmodell vor zur Entwicklung eines Reifegradmodells mit folgenden acht Phasen: (1) Problemdefinition; (2) Vergleich bestehender Reifegradmodelle; (3) Festlegung der Entwicklungsstrategie; (4) Iterative Reifegradmodellentwicklung; (5) Konzeption von Transfer und Evaluation; (6) Implementierung der Transfermittel; (7) Durchführung der Evaluation und (8) Verwerfen des Reifegradmodells. Dies aufgreifend und mit Blick auf bereits erfolgreiche Reifegradmodellentwicklungen nach diesem Vorgehensmodell (siehe z.B. Böhm et al. 2013, Hecht 2014), dessen iterativer Vorgehensweise und der vollumfänglichen Dokumentationsanleitung des Konstruktionsprozesses auch zur Beurteilung der Validität und Reliabilität des Modells für den wissenschaftlichen Diskurs, wird auch die Entwicklung des Reifegradmodells SIMMI 4.0 (System Integration Maturity Model Industry 4.0) dem Vorgehensmodell von Becker et al. (2009) folgen.

### 3 Entwicklung des Reifegradmodells (Multimethodisches Vorgehen)

Das in diesem Beitrag vorgestellte Reifegradmodell SIMMI 4.0 befindet sich gemäß dem Vorgehensmodell nach Becker et al. (2009) in Phase 4 "iterative Reifegradmodellentwicklung". Im Nachfolgenden werden die Inhalte und Ergebnisse der Phasen 1 bis 4 erläutert. Ferner wird das Reifegradmodell SIMMI 4.0 nach der ersten Entwicklungsiteration als Vorschlag vorgestellt.

#### 3.1 Problemdefinition

Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, gewinnt das Thema „Industrie 4.0“ zunehmend an Bedeutung und wird sich in seiner Vielfalt in den Unternehmen ausbreiten. Neben den organisatorischen Herausforderungen und der Frage nach dem richtigen Geschäftsmodell, wird die IT wieder einmal mehr vor eine Integrationsaufgabe weiterer Systeme gestellt werden. Die homogene Anwendungssystemlandschaft der 1990er und 2000er Jahre bricht auf in kleinere heterogene Systeme, da die Anforderungen, die sich den Unternehmen mit Fokus auf Industrie 4.0 stellen, durch ein „großes,

allumfassendes“ System nicht abgedeckt werden können. Daraus resultiert auch die Notwendigkeit, dass ein Unternehmen in der Lage sein muss, seine Anwendungssystemlandschaft zu klassifizieren und zu analysieren, um zu erkennen, ob diese ausreichend und passfähig ist für die Anforderungen der Industrie 4.0. Hierzu bedarf es einem Hilfsmittel (z.B. ein Reifegradmodell), welches dem Unternehmen die Einordnung seiner Anwendungssystemlandschaft bzw. auch der Landschaften seiner Geschäftspartner ermöglicht.

### 3.2 Vergleich bestehender Reifegradmodelle

Laut der Anforderung A1 (vgl. Tabelle 1) ist die Notwendigkeit der Entwicklung eines neuen Reifegradmodells zu begründen. Hierzu wurden nach eingängiger Literaturrecherche ca. 50 überwiegend wissenschaftliche Beiträge zu Reifegradmodellen analysiert und auf deren Passfähigkeit hinsichtlich Industrie 4.0 bewertet. Dazu wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

**Schritt 1:** Erstellung eines **Klassifikationsschemas** nach dem Reifegradmodelle systematisch analysiert und bewertet werden können: Mit den Anforderungen zur Entwicklung von Reifegradmodellen nach Becker et al. (2009) wurden unter Einbeziehung von Mettler (2010) die wesentlichen Kriterien für das Klassifikationsschema zur Analyse und zur Bewertung der zu untersuchenden Reifegradmodelle aufgestellt. In Tabelle 2 ist dieses Schema exemplarisch dargestellt.

**Schritt 2:** Durchführung einer **Literaturrecherche** (in drei unterschiedlichen Ausprägungsstufen): **(1) Fokus:** Reifegradmodelle im Kontext von Industrie 4.0, **(2) Fokus:** allgemeine Reifegradmodelle zu Software und **(3) Fokus:** artverwandte Reifegradmodelle zu Industrie 4.0 mit dem Aspekt der zwischenbetrieblichen Integration. Im Rahmen der ersten Literaturrecherche „**Reifegradmodelle im Kontext zu Industrie 4.0**“ wurden folgende Publikationsdatenbanken ausgewählt: EBSCO, SpringerLink, Science Direct, Emerald und WISO. Zusätzlich wurden in den Konferenzbänden folgender Konferenzen gesucht: ECIS, ICIS, AMCIS, HICSS und Wirtschaftsinformatik (WI). Die Suchabfrage wurde mit folgenden Suchbegriffen und Kombination im Zeitraum von 2000 bis 2015 durchgeführt: (Industrie 4.0 ODER Industry 4.0) UND (Reifegradmodell ODER Maturity Model ODER Capability Model ODER Process Improvement Model ODER Maturity Grid). Das Ergebnis dieser Recherche waren 15 wissenschaftliche Beiträge, die näher analysiert wurden. Im Rahmen der zweiten Literaturrecherche „**allgemeine Reifegradmodelle zu Software**“ wurden aufgrund der Häufigkeitsbenennung durch Wendler (2012) folgende sechs Reifegradmodelle zur Analyse ausgewählt: CMM(I), ISO 9000, SPICE (Software), BPMM (OMG), Cobit-CMM, Crosby's Maturity Grid. Ferner wurden die Reifegradmodelle SOA MM und Cloud Computing Maturity Model analysiert. Im Rahmen der dritten Literaturrecherche „**artverwandte Reifegradmodelle zu Industrie 4.0 mit dem Aspekt der zwischenbetrieblichen Integration**“ wurden 24 Beiträge nach Frick und Gäb (2015) zur Klassifizierung ausgewählt.

Die Liste aller analysierten Beiträge sowie die daraus resultierende Klassifikation (gemäß Tabelle 2) sind nicht Bestandteil dieses Beitrags, können jedoch bei den Autoren angefragt werden.

**Schritt 3: Klassifikation** der Beiträge und **Beurteilung** der Notwendigkeit: Die in Schritt 2 ausgewählten 53 Beiträge zu Reifegradmodellen wurden anhand des Klassifikationsschemas aus Schritt 1 analysiert und bewertet. Die Analyse hat gezeigt, dass die vorgestellten Reifegradmodelle durchschnittlich 5 Stufen und zahlenmäßig sehr unterschiedliche Dimensionsausprägungen je Stufe

haben. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass die wenigsten Beiträge tatsächlich dem Vorgehensmodell nach Becker et al. (2009) folgen und nahezu fast allen eine gründliche Evaluierung der Reifegradmodelle in der Praxis fehlt. Überwiegend stellen diese Beiträge einen ersten Vorschlag eines Modells dar.

#	Merkmal	Erläuterung
M1	<b>Titel des Beitrags</b>	Angabe des Beitragstitels in der entsprechenden Publikation.
M2	<b>Erscheinungsjahr</b>	Angabe in welchem Jahr der Beitrag veröffentlicht worden ist.
M3	<b>Land</b>	Angabe über das Herkunftsland der Autoren.
M4	<b>Zusammenfassung</b>	Angabe einer eigenständigen, kurzen und aussagekräftigen Beschreibung des Beitrags bzw. Aufführung des Abstract
M5	<b>Name des Reifegradmodells</b>	Angabe eines spezifischen Namen und Abkürzung des Reifegradmodells
M6	<b>Branche / Anwendungsbereich</b>	Angabe, ob das Reifegradmodell spezifisch für eine Branche bzw. Anwendungsbereich entwickelt worden ist.
M7	<b>Unternehmensgröße</b>	Angabe, ob das Reifegradmodell spezifisch für eine bestimmte Unternehmenskategorie entwickelt worden ist. <input type="checkbox"/> KMU (< 250 MA; < 50 Mio. EUR Umsatz) <input type="checkbox"/> Großunternehmen (> 250 MA; > 50 Mio. EUR Umsatz)
M8	<b>Artefakte</b>	Benennung der entwickelten innovativen Problemlösungsartefakte, welche einen Beitrag zum bisherigen Stand der Forschung liefern.
M9	<b>Reifegrad-Stufen</b>	Auflistung der einzelnen Reifegradstufen inkl. Kurzbezeichnung und ggf. Anzahl der beinhalteten Anforderungen.
M10	<b>Problemrelevanz und -definition</b>	Angabe, ob im Vorfeld ein bestimmtes Problem identifiziert worden ist und der Beitrag eine Lösung bieten soll.
M11	<b>Vergleich bestehender Reifegradmodellen</b>	Angabe, ob im Vorfeld existierende Reifegradmodelle analysiert worden sind und die Notwendigkeit eines zu entwickelnden begründet ist.
M12	<b>Festlegung der Entwicklungsstrategie</b>	<input type="checkbox"/> Entwicklung eines neuen Reifegradmodells <input type="checkbox"/> Adaption eines bestehenden Reifegradmodells <input type="checkbox"/> Kombination mehrerer Modelle zu einem Reifegradmodell
M13	<b>Iterative Reifegradentwicklung</b>	Angabe, ob die Entwicklung des Reifegradmodells in 1-n Iterationsschritten erfolgt ist und dabei unterschiedlichste Forschungsmethoden begründet eingesetzt worden sind.
M14	<b>Evaluation</b>	Angabe, in welcher Form das Reifegradmodell während der Entwicklung evaluiert wurde.
M15	<b>Weiterer Forschungsbedarf</b>	Angabe, inwiefern der Beitrag auf weiteren Forschungsbedarf hinweist und Lücken in der Entwicklung des Reifegradmodells aufzeigt.

**Tabelle 2: Schema zur Klassifizierung von Reifegradmodellen**

Diesen Schritt zusammenfassend hat die Analyse der Beiträge/Reifegradmodelle gezeigt, dass es derzeit kein geeignetes Reifegradmodell gibt, welches den Ansprüchen der Einordnung und Bewertung einer unternehmensweiten Anwendungssystemlandschaft im Kontext von Industrie 4.0 gerecht wird. Zwar enthalten die analysierten Reifegradmodelle insgesamt teilweise passende Ansätze, jedoch decken diese zumeist für den Anwendungsfall Industrie 4.0 nicht den erforderlichen Funktionsumfang einer stark integrativen und organisatorischen Digitalisierung ab.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Entwicklung eines passfähigeren Reifegradmodells für diesen Kontext.

### 3.3 Festlegung der Entwicklungsstrategie

Industrie 4.0 ist ein unternehmensübergreifendes Thema und auch die Anwendungssysteme darin besitzen durch z.B. verschiedene aktuelle Technologien oder Paradigmen einen unternehmensübergreifenden Charakter. Um diesem Charakter Rechnung zu tragen, basiert die Entwicklungsstrategie auf der Ableitung bzw. Modifikation bestehender Reifegradmodelle. Hier wurden vor allem artverwandte Reifegradmodelle wie z.B. CMM(I) und SOAMM genutzt und es wurde versucht, diese in Kombination mit den Anforderungen von Industrie 4.0 zu bringen.

### 3.4 (Iterative) Reifegradmodellentwicklung

In der ersten Iteration wurden die Erkenntnisse aus der Literaturanalyse zum generellen Aufbau von Reifegradmodellen mit den Anforderungen an die Anwendungssystemlandschaft eines Unternehmens, welches vollumfänglich im Kontext von Industrie 4.0 operiert, zusammengeführt. Somit stellt dieser Beitrag einen ersten Entwurf für ein Reifegradmodell zur Bewertung einer Anwendungslandschaft bezogen auf die Anforderungen von Industrie 4.0.

#### 3.4.1 Anforderungen von Industrie 4.0 an Anwendungssysteme

Als Ausgangspunkt für den Modellentwurf wurde eine weitere Literaturanalyse durchgeführt. Das Ziel dieser war es, bisherige Wissensstände über Industrie 4.0 aufzuarbeiten und die wesentlichen Anforderungen an die Anwendungssysteme im Kontext von Industrie 4.0 herauszuarbeiten. Hierzu wurden die Datenbanken EBSCO, ScienceDirect, SpringerLink und Google Scholar mit folgenden Begriffen durchsucht: Informationssysteme, Industrie 4.0, Reifegradmodelle, Integration, Digitalisierung, Internet der Dinge und Dienste, Cyber-Physische-Systeme, Wertschöpfungsnetzwerke, Anwendungssysteme, operative Systeme, betriebliche Informationssysteme. Dabei werden im Folgenden exemplarisch einige Anforderungen, die aus dieser Literaturanalyse resultierten, vorgestellt.

Im Abschlussbericht Industrie 4.0 (Kagermann et al. 2013) wurden drei wesentliche Anforderungen herausgestellt, auf die sich Industrie 4.0 fokussiert und somit von der unternehmensweiten Anwendungssystemlandschaft unterstützt werden müssen:

**Vertikale Integration** entlang den Hierarchieebenen eines Unternehmens: Zwar unterstützen die Systeme ihre eigene Aufgabe jeweils sehr gut, andererseits liegen die Daten, welche die einzelnen Systeme, wie ERP-Systeme, SCM-Systeme, MES, Management Information Systems, Product LifeCycle Management (PLM)-Systeme, etc. benötigen, in verschiedenen Datenbanken und teilweise in verschiedenen Formaten vor. Diesem suboptimalen Grad an Integration muss bei der Umsetzung von Industrie 4.0 entgegen gewirkt werden.

**Horizontale Integration** über Wertschöpfungsnetzwerke: Für die Anwendungssysteme bedeutet dies, dass Brüche in den Informationsflüssen vermieden werden müssen und die Informationen zur richtigen Zeit am richtigen „Ort“ vorliegen müssen und zwar entlang der gesamten Supply Chain. Weiterhin muss der Austausch dieser Informationsflüsse (komplett) automatisiert ablaufen.

**Digitale Durchgängigkeit** des Engineerings: Hierbei gilt es die Entstehung eines Produktes entlang der Wertschöpfungskette durch den Einsatz von Anwendungssystemen durchgängig zu unterstützen. Dies schließt auch den Produktionssystementstehungsprozess ein.

Aus der Literatur und ergänzend aus den Studien, die untersucht wurden, haben sich Querschnittstechnologien ergeben, die Teil der Anwendungssysteme sind. Diese werden definiert und zusätzlich ihre Relevanz für die Industrie 4.0 erläutert:

**Service-orientierte Architektur:** Die Plattform Industrie 4.0 hat am 10. April 2014 ein Whitepaper veröffentlicht, in dem die Schaffung einer Referenzarchitektur auf Basis einer SOA als Voraussetzung für die Umsetzung von Industrie 4.0 festgelegt wird (Industrie 4.0 2014).

**Cloud Computing:** In der Industrie 4.0 werden nicht nur einzelne Produktionsstandorte digitalisiert, sondern zusätzlich sind die Produktionsstandorte eines Unternehmens informationstechnisch sowie die Unternehmen entlang der Supply Chain miteinander verbunden. Bei Cloud Computing werden diese benötigten Dinge als Services bereitgestellt.

**Informationsaggregation und -aufbereitung:** Aggregation der Informationen bedeutet in diesem Zusammenhang, dass aus den Daten, die aus den verschiedenen integrierten Systemen vorliegen, durch verschiedene Wege der Aufbereitung wie Clustering und Filterung, Zusammenhänge kenntlich gemacht werden und dem Benutzer oder der Maschine zur Verfügung gestellt werden. Dies macht deutlich, dass nicht nur die Daten aus den Produktionssystemen, zum Beispiel aus den verschiedenen vernetzten Maschinen, (Halb-)Produkten, Sensoren etc. in Richtung betrieblicher Ebene (ERP, SCM) aggregiert werden, sondern auch die Daten zu den Maschinen hin (Schöning und Dorchhain 2014).

**IT-Sicherheit:** In der Industrie 4.0 wird das Unternehmen nicht nur ab der operativen Ebene mit dem Internet verbunden sein. Als Teil des Internets der Dinge und Dienste wird von der Produktionsebene, im extremsten Fall von der Steuerungsebene, bis zur strategischen Ebene eine durchgängige Verbindung zum Internet vorhanden sein. Dadurch steht den Informationssystemen eine große Herausforderung bei der Gewährleistung der IT-Sicherheit bevor. Krcmar (2015) definiert dabei IT-Sicherheit als angemessenen Schutz aller Informationen die in Form elektronischer Daten vorliegen. Kappes (2013) erweitert die Informationen noch um Informationssysteme, in denen sichergestellt werden muss, dass Dienste in den Systemen für Benutzer verfügbar sind.

### 3.4.2 Entwurf Reifegradmodell SIMMI 4.0

Für das zu entwerfende Reifegradmodell werden aus den beschriebenen Anforderungen Dimensionen erstellt, die es ermöglichen sollen eine Beurteilung vorzunehmen.

**Dimension vertikale Integration:** Besonderes Augenmerk dieser Dimension wird auf die Verbindung der untersten Ebene gelegt, in der verschiedene Dinge ((Halb-)Produkte, Maschinen, etc.) verschiedene Informationen mit den darüber liegenden Ebenen austauschen. Das wichtigste Kriterium hierbei ist, dass dieser Austausch in beide Richtungen erfolgt.

**Dimension horizontale Integration:** Industrie 4.0 fordert eine horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke. Hierbei hat sich aus den Anforderungen ein wesentliches Kriterium herauskristallisiert. Automatisierter und durchgängiger Informationsfluss entlang der horizontalen Ebene des Unternehmens und zusätzlich die Eliminierung dieses Vorgangs an der Grenze des Unternehmens für die Schaffung von unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken. Das heißt die Anwendungssysteme benötigen eine Interoperabilität auf Datenebene. Hierzu werden durchgängige und konsistente Daten benötigt (Forstner und Dümmler 2014; Wegener 2014).

**Dimension digitale Produktentstehung:** Für die digitale Durchgängigkeit des Engineering ist besonders wichtig, dass jeder Prozessschritt digital abgebildet wird. Hierzu muss einerseits für jeden Schritt mindestens ein Anwendungssystem in den Prozess integriert sein und andererseits die Ergebnisse aus jedem Schritt an den vorherigen / nächsten weitergeleitet werden können.

**Dimension Querschnittstechnologie-Kriterien:** Anhand dieser Dimension soll bewertet werden, inwieweit Technologien über alle Merkmale hinweg eingesetzt werden. Aus den Anforderungen ergeben sich folgende Gebiete: Service-orientierte Architektur, Cloud Computing, Big Data und IT-Sicherheit. Zusätzlich soll der Grad der Unterstützung der Informationssysteme durch diese Technologien bewertet werden.

**Stufen des Reifegradmodells:** Diese Dimensionen können unterschiedliche Ausprägungen in ihrem Umfang und Intensität im Unternehmen besitzen. Tabelle 3 gibt daher einen finalen Überblick über den Vorschlag des Reifegradmodells SIMMI 4.0.

Nicht jedes Unternehmen (auch abhängig von der Zielstellung und Ausrichtung des jeweiligen Unternehmens im Hinblick auf Industrie 4.0) muss alle Dimensionen vollumfänglich implementiert haben. Hier gibt es mehrere Abstufungen pro Dimension, die wiederum in verschiedenen Stufen des Reifegradmodells resultieren. Insgesamt wird SIMMI 4.0 daher in fünf Stufen unterteilt. Diese 5-stufige Unterteilung begründet sich auch darin, dass in der Mitte der Stufen, in Stufe 3, die Umsetzung der intelligenten Fabrik (smart factory) abgeschlossen ist. Bevor Wertschöpfungsnetzwerke realisiert werden, sollten in jedem einzelnen Unternehmen die Grundlagen für Industrie 4.0 geschaffen sein, damit diese stabil, robust und wandlungsfähig sind. Dies hat den Vorteil, dass durch die Realisierung der intelligenten Fabrik Erfahrungen gesammelt und Technologien erprobt werden können, bevor sie mit anderen Unternehmen verbunden werden (Forstner und Dümmler 2014).

## 4 Fazit und Ausblick

Ziel dieses Beitrags war es, ein Reifegradmodell für die Einordnung der Anwendungssystemlandschaft im Kontext von Industrie 4.0 zu entwickeln. Dabei konnte im Rahmen der Beantwortung der Forschungsfrage 2 gezeigt werden, dass aktuell keine Reifegradmodelle existieren, die den Anforderungen von Industrie 4.0 an Anwendungssysteme gerecht werden. Daraufhin ergab sich die Notwendigkeit ein neues Reifegradmodell zu entwickeln.

Dieses wurde in Anlehnung an Becker et al. (2009) entworfen. Dabei wurden Anforderungen aus dem Kontext von Industrie 4.0 (Forschungsfrage 1) aus der Literatur abgeleitet und in Kombination mit einer Literaturrecherche zu Reifegradmodellen allgemein in ein neues Reifegradmodell (SIMMI 4.0) übertragen.

Somit stellt dieser Beitrag einen Vorschlag für ein Reifegradmodell zur Klassifikation einer unternehmensweiten Anwendungssystemlandschaft dar.

Ausgehend von Becker et al. (2009) befindet sich die Entwicklung von SIMMI 4.0 in Phase 4 (Iterative Modellentwicklung). Somit ist die Entwicklung des Modells noch nicht abgeschlossen.

Dimension <b>Vertikale Integration</b>	Dimension <b>Horizontale Integration</b>	Dimension <b>Digitale Produkt- entstehung</b>	Dimension <b>Querschnitts- technologien</b>
<b>Reifegrad 5 – Optimierte vollständige Digitalisierung</b>			
Das Unternehmen ist ein Aushängeschild für Industrie 4.0. Es tauscht sich mit Kollaborationspartnern aus und optimiert die Wertschöpfungsnetzwerke.			
Durchgängige unternehmens-übergreifende Integration, die ständig optimiert wird.	Durchgängige unternehmens-übergreifende Integration und Kollaboration im Wertschöpfungsnetzwerk.	Produktentstehung findet durchgängig digital innerhalb und außerhalb des Unternehmens statt (digitalisierte End-to-End Lösung).	Simulation und Optimierung der Wert- und Informationsflüsse innerhalb der Wertschöpfungsflüsse in Echtzeit. IT-Sicherheit passt sich neuen Risiken zeitnah an und Sicherheitslücken werden umgehend geschlossen. Verschlüsselung entlang der Wertschöpfungsnetzwerke wird optimiert.
<b>Reifegrad 4 – Vollständige Digitalisierung</b>			
Das Unternehmen ist vollständig über Unternehmensgrenzen hinweg digitalisiert. Industrie 4.0 wird aktiv im Unternehmen gelebt und ist in der Unternehmensstrategie verankert.			
Durchgängige unternehmens-übergreifende Integration.	Durchgängige unternehmens-übergreifende Integration im Wertschöpfungsnetzwerk.	Informationen aus der Produktentstehung werden digital weitergeleitet.	Service-orientierte cloud-basierte Plattform. Services werden im Werkschöpfungsnetzwerk angeboten. Informationsflüsse werden entlang der SC in Echtzeit austauscht. Optimierung der gesamten Produktion durch Big Data Lösungen. Zugriff auf Daten ist geschützt. Unternehmens-übergreifende Verschlüsselung der Daten und Authentifizierung für den globalen Zugriff.
<b>Reifegrad 3 – Horizontale und vertikale Digitalisierung</b>			
Das Unternehmen ist horizontal und vertikal digitalisiert. Industrie 4.0 Anforderungen sind innerhalb des Unternehmens umgesetzt.			
Vollständige innerbetriebliche Integration der Anwendungssysteme und Maschinen.	Vollständige innerbetriebliche Integration der Anwendungssysteme und Maschinen.	Produktentstehung wird durchgängig digital unterstützt.	SOA hat sich etabliert. Alle Funktionalitäten sind als Services abgebildet. (Halb-)Produkte und deren Funktionalitäten sind als Services vorhanden. Austausch der Informationen im Unternehmen erfolgt mit Cloud-Prinzipien. Produktion wird in Echtzeit angepasst und optimiert. IT-Sicherheit wurde durch den Einsatz der Modelle erhöht. Daten werden innerhalb des Unternehmens verschlüsselt übertragen.
<b>Reifegrad 2 – Bereichsübergreifende Digitalisierung</b>			
Das Unternehmen beschäftigt sich aktiv mit Industrie 4.0. Digitalisierung wird bereichsübergreifend vorgenommen und erste Anforderungen werden umgesetzt.			
Bereichsübergreifende Integration	Bereichsübergreifende Integration	Produktentstehung wird einzeln digital unterstützt. Informationen werden nicht ausgetauscht.	Einführung einer SOA mit ESB. / Erste Prozesse mit Services werden bereitgestellt. / Erste Erfahrung mit Big Data und angewandt. / Entwicklung erster IT-Sicherheitsmodellen
<b>Reifegrad 1 – Bereichsübergreifende Digitalisierung</b>			
Das Unternehmen beschäftigt sich (noch) nicht mit Industrie 4.0. Anforderungen werden nur teilweise erfüllt.			
Bereichsintegration der Anwendungssysteme	Bereichsintegration der Anwendungssysteme	Produktentstehung ist nicht digital unterstützt.	Keine service-orientierten und cloud-basierten Ansätze. / Daten werden nicht zur Produktverbesserung eingesetzt. / Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität der Daten ist nicht gewährleistet.

Tabelle 3: Gesamtübersicht des Reifegradmodells SIMMI 4.0

Die nächsten Iterationsschritte in Phase 4 umfassen: Durchführung von Expertengesprächen mit Modellanpassung auf Basis der Interviews (2. Iterationsschritt); Gruppeninterviews mit Anwenderunternehmen mit erneuter Anpassung zur finalen Version (3. Iterationsschritt). Nach Abschluss von Phase 4 folgen nach Becker et al. (2009) Transfer und Evaluation des Reifegradmodells. Diese Schritte sollen auf Basis von konkreter Anwendung des Modells mit/in Unternehmen erfolgen. Die daraus resultierenden Gestaltungsentscheidungen bezogen auf die Ausprägungen und Stufen von SIMMI 4.0, weitere detaillierte Evaluationsschritte sowie der Erkenntnisbeitrag von SIMMI 4.0 für die Praxis werden in Folgearbeiten aufgegriffen.

Über die Entwicklung von SIMMI 4.0 hinaus ergaben sich vor allem auf der Basis der Literaturrecherche aus Kapitel 3.2 (Vergleich bestehender Reifegradmodelle) weitere Anknüpfungspunkte und zusätzlicher Forschungsbedarf. Diese sind u. a. das Mapping zwischen SIMMI 4.0 und anderen bestehenden Reifegradmodellen für Industrie 4.0 (z.B. Kaufmann 2015, BMWi 2015), die auf organisatorischer bzw. auf systemspezifischer Ebene ausgelegt sind. Hier sollten Zuordnungen verschiedener Reifegradstufen und Dimensionen zwischen den einzelnen Modellen geschaffen werden, um es Unternehmen zu ermöglichen sich vollumfänglich in Industrie 4.0 einzuordnen und so eine Gesamtreife für Industrie 4.0 zu bestimmen. Des Weiteren wäre zu überlegen in welcher Art und Weise SIMMI 4.0 branchenspezifisch ausgerichtet werden sollte.

## 5 Literatur

- BDI, Roland Berger (2015) Die Digitale Transformation der Industrie - Eine europäische Studie von Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des BDI. München, Berlin
- Becker PDJ, Knackstedt DR, Pöppelbuß DWIJ (2009) Entwicklung von Reifegradmodellen für das IT-Management. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 51(3):249–260
- Beckmann H; Schäffer T (2014) ERP-Studie. Erfolgsfaktoren für die Integration von Unternehmenssoftware in die Unternehmens-IT. Steinbeis-Edition (Schriftenreihe Wirtschaftsinformatik), Stuttgart
- BMWi (2015) Erschließung der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand: Studie im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Agiplan GmbH, Mühlheim an der Ruhr
- Böhm M, Jasper M, Thomas O (2013) Das Further Education Maturity Model: Entwicklung und Implementierung eines Reifegradmodells zur Auswahl von Weiterbildungsveranstaltungen im Bereich IT-Management und –Consulting. In: Thomas O (Hrsg) Living Lab Business Process Management Research Report, Nr. 6. Living Lab BPM, Osnabrück
- de Bruin T, Freeze R, Kulkarni U, Rosemann M (2005) Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model. In: Campbell B (Hrsg) Proceedings of the 16th Australasian Conference on Information Systems (ACIS 2005), November 30 - December 2, 2005, Sydney, Australia
- Forstner L, Dümmler M (2014) Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke – Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0. e & i Elektrotechnik und Informationstechnik 131(7):199–201
- Frick N, Gäb C (2015) Analytischer Vergleich der Praxistauglichkeit von Reifegradmodellen der zwischenbetrieblichen Integration. In: Thomas O, Teuteberg F (Hrsg) Proceedings der 12. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2015), pp. 1483-1497. Osnabrück

- Hecht S (2014) Ein Reifegradmodell für die Bewertung und Verbesserung von Fähigkeiten im ERP-Anwendungsmanagement. Springer Gabler, Heidelberg
- Hevner A, March S, Park J, Ram S (2004) Design science in information systems research. *MIS Quarterly* 28(1):75–105
- Industrie 4.0 (2014) Industrie 4.0: Whitepaper FuE-Themen, Veröffentlichung der Plattform Industrie 4.0 in Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftlichen Beirat. <http://www.zvei.org/Verband/Publikationen/Seiten/Industrie-40-Whitepaper-FuE-Themen.aspx>. Abgerufen am: 20.07.2015
- Kagermann H, Wahlster W, Helbig J (2013) Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. acatech
- Kappes M (2013) Netzwerk- und Datensicherheit: Eine praktische Einführung, 2. Aufl. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Kaufmann T (2015) Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Krcmar H (2015) Einführung in das Informationsmanagement, 2. Aufl. Springer, Heidelberg
- Lemke C, Brenner W (2014) Einführung in die Wirtschaftsinformatik: Band 1: Verstehen des digitalen Zeitalters, Auflage 2015. Springer Gabler, Heidelberg
- Mettler T (2010) Vorschlag zur Wiederverwendung und Wiederauffindung von Reifegradmodellen. Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St. Gallen
- Rauh J, Seynstahl C (2012) Internetversorgung und Breitbandbedarf in ländlichen Räumen: einige empirische Ergebnisse aus Ist- und Bedarfs-Analysen. In: Gräf P, Rauh J (Hrsg) Innovative Anwendungen von IKT, pp. 53–64. LIT Verlag, Münster
- Schäffer T, Beckmann H (2014) Trendstudie Stammdatenqualität 2013: Erhebung der aktuellen Situation zur Stammdatenqualität in Unternehmen und daraus abgeleitete Trends. Steinbeis-Edition (Schriftenreihe Wirtschaftsinformatik), Stuttgart
- Schlick J, Stephan P, Loskyll M, Lappe D (2014) Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel-Heuser B (Hrsg) Industrie 4.0 in der Produktion, Automatisierung und Logistik, pp. 57-84. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Schöning H, Dorchhain M (2014) Data Mining und Analyse. In: Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel-Heuser B (Hrsg) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration, pp. 543-554. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Wegener D (2014) Industrie 4.0 – Chancen und Herausforderungen für einen Global Player. In: Bauernhansl T, ten Hompel M, Vogel-Heuser B (Hrsg) Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration, pp. 343-358. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Wendler R (2012) The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and Software Technology* 54(2):1317–1339